

同期整流とマルチフェーズ

山崎 浩

同期整流は新しい概念ではありません。以前から、白熱ランプの調光や大型の PAM インバータの電源素子にはサイリスタの位相制御が用いられてきましたが、サイリスタは AC 商用周波数に同期して整流し、さらに出力を位相制御により調整してきました。第 1 表に整流回路に用いられる半導体素子を比較します。

同期整流の背景

コンピュータを高機能化するために、メモリー (DRAM) 容量は増加の一途をたどっています。メモリーは一種のコンデンサで、コンデンサの容量を C 、ハイレベルの電圧を V とすれば、1 回の書き込みには $1/2 \cdot CV$ のエネルギーが必要です。消費電力 P は 1 秒間に書き込み消去した回数、概ねクロック周波数 f に比例します。

$$P = CV \cdot f$$

コンピュータの高機能化するなかメモリーの大容量化と、高速化するなか高周波化に伴う消費電力の増大および発熱を抑えるには、電源電圧 V の低下が不可避です。

しかし、高周波から低い直流電圧を得る場合、接合形ダイオードを用いる限り、リカバリー現象と順方向

電圧 V_F が整流効率を大幅に低下させてしまいます。バイポーラ素子である接合形ダイオードをユニポーラ素子のショットキー・ダイオードに置き換えれば、リカバリー問題は解決されます。しかし、 V_F は半減するものの漏れ電流が増加する欠点もあります。

同期整流の動作原理

ショットキー・ダイオードより V_F をさらに小さくすることが同期整流の目的です。スイッチとしてのパワー MOS-FET はダイオードの閾値としての V_F はなく小電流時の飽和損失は限りなく 0 V に近づきます (第 1 図)。

第 2 図に同期整流 (Synchronous Rectification) の概念を示します。AC

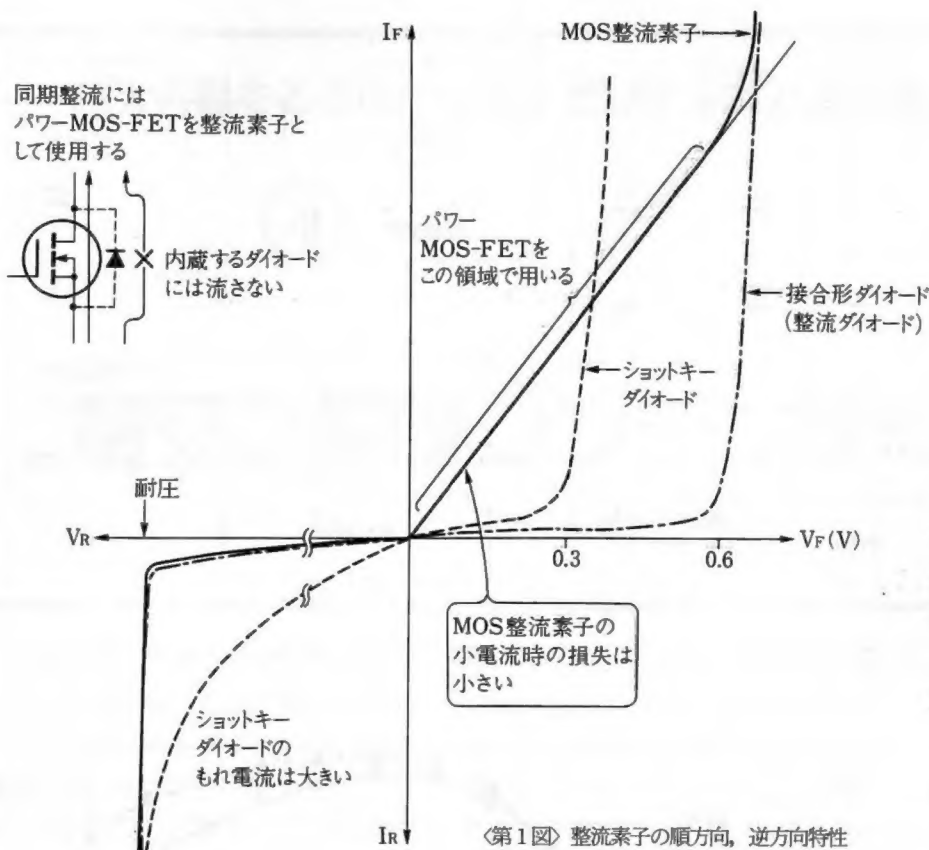
入力に同期してオンオフするスイッチで整流し、DC を得ることが特徴です。AC 入力の (+) に同期してスイッチをオン、(-) に同期してオフすれば出力に DC が得られます。

一般に Nch パワー MOS-FET がオンすると電流はドレインからソース方向に流れ、内蔵ダイオードにとって逆方向で用います。同期整流スイッチとしての Nch パワー MOS-FET にはソースからドレイン方向に電流は流れ、内蔵ダイオードに対し順方向です。

しかし、内蔵ダイオードに順方向電流が流れるとリカバリー現象が生ずるので、高速のスイッチにはなり得ません。内蔵ダイオードに電流を流さないために、パワー MOS-FET の端子電圧 ($= I_{SD} \times R_{DS(on)}$) を

素子名	順方向電圧 V_F	耐圧	スイッチング速度	その他
サイリスタ	大	高	遅い	駆動回路必要 出力調整可能
整流ダイオード	中	高	やや遅い	
ファストリカバリー・ダイオード	やや大	中～高	速い	
ショットキー・ダイオード	小	低～中	高速	もれ電流大
パワー MOS-FET による同期整流	最小	低～高	高速	駆動回路必要

〈第 1 表〉整流素子の特徴



〈第1図〉 整流素子の順方向、逆方向特性

内蔵ダイオードの順方向電圧 V_F 以下に選びます。

同期整流素子としてのパワーMOS-FETが扱うことの可能な電流値を見積もって見ましょう。内蔵ダイオードの順方向電圧 $V_F=0.6$ V、動作時のオン抵抗を $10\text{ m}\Omega$ とすれば、

$$0.6\text{ V} \geq 10\text{ m}\Omega \times 2 \times I_{\text{OUT}},$$

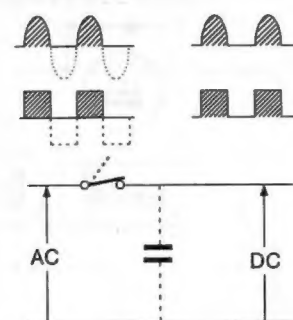
よって、 $I_{\text{OUT}} \leq 30\text{ A}$

第3図は降圧チョップ回路の制御素子(チョッパー)に Pch または Nch のパワー MOS-FET を、同期整流素子として Nch パワー MOS-

FET を用いています。制御素子は $R_{\text{DS}}(\text{on})$ に制約されないので駆動を容易にするためにゲート容量の小さい素子が、同期整流素子には $R_{\text{DS}}(\text{on})$ の小さいトレンチ形が適しています。

マルチフェーズとは

マルチフェーズとは多相の意味で、単相すなわちシングルフェーズに対比する概念です。商用電源の3相ラインと単相ラインの関係に似て、マルチフェーズはシングルフェーズより大電力を取り出すための手



AC 入力に正負に応じて
スイッチをオン、オフする
〈第2図〉 同期整流の概念

法です。大容量化が進み、 100 A もの出力を要求されるサーバーなどに有効です。

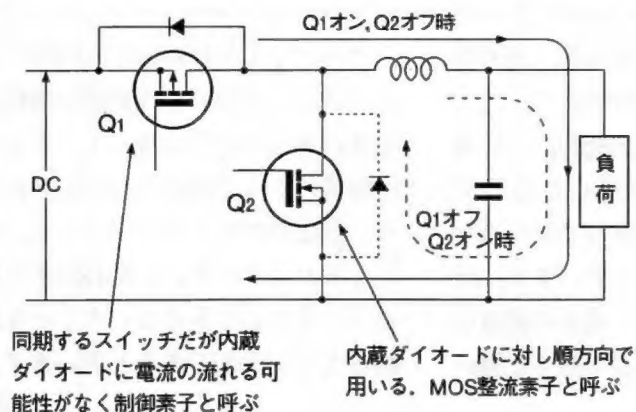
第4図にマルチフェーズの DC/DC コンバータを示します。

A, B, C...の各ユニットは降圧チョッパーです。A, B, C...を同じタイミングでオン、オフ動作させれば、単純にユニット数倍の電流容量になります。各ユニットのオン期間が重ならないようにする、言い換えると位相をずらしてオン、オフさせると出力部の平滑コンデンサへの充放電回数が増えるので、リップル電圧が小さくなります。

たとえば4相のマルチフェーズの DC/DC コンバータの各ユニットを、 250 kHz でスイッチングすると、出力コンデンサからみて 250 kHz の4倍、すなわち 1 MHz でスイッチングしたものと等価です。ただし、各ユニットには個々に 250 kHz でスイッチングする駆動回路が必要になります。

第5図のようにチョークコイルを共用することもできます。チョークコイルに流れる電流は出力電流そのものだから、第4図のチョークコイルより大きくなります。また、外来ノイズなどで、各ユニットのオン期間が揃うと入力が短絡されます。

フェーズの数を増やせば、出力を大きくできるはずですが、同数の駆



〈第3図〉
降圧チョップによる同
期整流